

# Guías generales para la predicción inmediata – Resumen

por Franziska Schmid<sup>1</sup>, Yong Wang<sup>1</sup> y Abdoulaye Harou<sup>2</sup>

Un grupo internacional de expertos en predicción inmediata ha elaborado las Guías generales de la OMM para las técnicas de predicción inmediata (WMO, 2017) para iniciar el camino hacia un Sistema de proceso de datos y de predicción (SPDP) integrado y sin costuras. El propósito es ayudar a los Servicios Meteorológicos e Hidrológicos Nacionales (SMHN) suministrándoles información y conocimiento acerca de cómo implementar un sistema de predicción inmediata con los medios que tengan disponibles y entender el estado actual de la ciencia y la tecnología. Este artículo resume las guías generales.

Keith Browning definió por primera vez la predicción inmediata (también conocida como *nowcasting*) en 1981 como “la descripción detallada del estado actual del tiempo y la predicción de los cambios que pueden esperarse en una escala temporal de unas pocas horas”. En 2010, el Grupo de trabajo de la OMM para la investigación en predicción inmediata definió esta última como la predicción con detalle local mediante cualquier método para un período que va desde el presente hasta seis horas incluyendo una descripción detallada del tiempo presente. Esta es la definición utilizada en este artículo.

La predicción inmediata se aplica generalmente al tiempo que ocurre en la mesoescala y en la escala local para períodos de tiempo cortos. Por tanto, se hace énfasis en la necesidad de observaciones de alta resolución que se actualicen frecuentemente de, por ejemplo, tormentas, tornados, granizo, precipitación fuerte, viento adverso, visibilidad (niebla) y tipos de precipitación invernal. Un predictor de predicción inmediata bien formado necesita un sistema en el que se visualicen de forma integrada las observaciones de varios instrumentos y sensores utilizando la misma rejilla espacial para cada uno de los datos. Entre los tipos de observaciones están las de radar, satélites, redes de descargas,

observaciones de superficie, perfiladores de viento y radiosondeos. Durante episodios de tiempo de alto impacto, los predictores deberían monitorizar continuamente las últimas observaciones mediante estos sistemas integrados de visualización que se actualizan frecuentemente. Además de las observaciones de alta resolución, los análisis y predicciones de los modelos numéricos del tiempo enfocados a la predicción inmediata deberían visualizarse en el mismo sistema.

## Observaciones y técnicas de predicción inmediata

Aunque las observaciones de superficie y de altura son importantes para la predicción inmediata, solo los sistemas de observación remota pueden proporcionar cobertura espacial de alta resolución. Existen técnicas sofisticadas de predicción inmediata en países desarrollados que disponen de sistemas maduros y robustos de radar. Sin embargo, en los países menos desarrollados y en las áreas remotas se carece de los sistemas operativos de radar requeridos.

Los radares meteorológicos son los instrumentos más importantes para la predicción inmediata, especialmente para fenómenos convectivos. Sin embargo, estos instrumentos son también los más caros y sofisticados, y son difíciles de mantener. Los radares tienen ventajas sobre los otros sistemas de observación para hacer predicción de fenómenos asociados con la precipitación porque observan directamente las partículas de precipitación en tres dimensiones sobre un área grande y actualizan las observaciones en unos pocos minutos. En rangos de menos de 60 km, la resolución de la precipitación es inferior a 1 km. Esto hace posible: a) estimar las intensidades y las cantidades de precipitación; b) observar la estructura tridimensional (3D) de la tormenta lo cual se ha visto que es útil para estimar la severidad de la misma; y c) obtener el movimiento de las tormentas que es esencial en la predicción inmediata. Si se dispone de capacidad Doppler se puede estimar el

1 Instituto Central de Meteorología y Geodinámica (Austria)

2 Secretaría de la OMM

viento, algo que resulta muy útil para emitir avisos por tornados, microrreventones y otros vientos que puedan producir daños. Además, los radares que disponen de polarización dual (transmiten y reciben en dos ondas polarizadas diferentes), permiten distinguir entre distintas partículas de precipitación (lluvia, nieve o granizo) e identificar ecos no relacionados con la precipitación como insectos y ecos de tierra. Esto es especialmente útil para realizar controles de calidad, para identificar el tipo de precipitación y para mejorar las estimaciones de la precipitación.

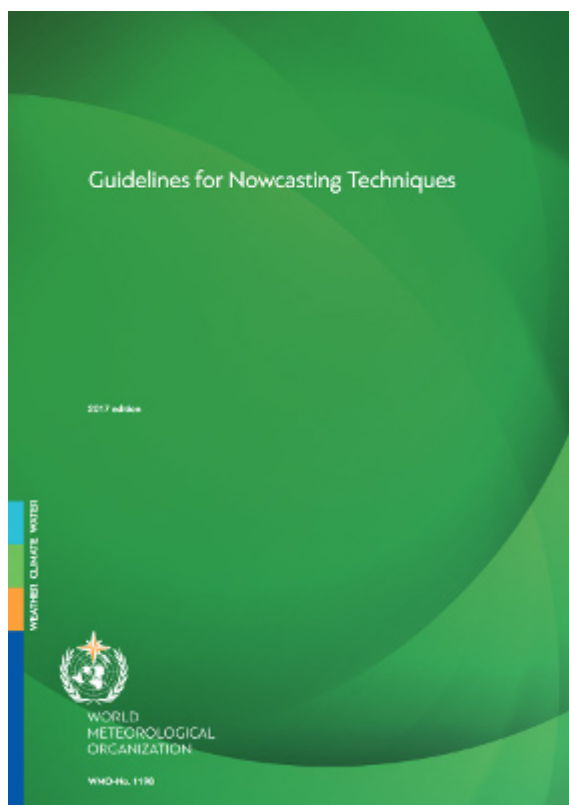
En muchas regiones del planeta, las estaciones meteorológicas de superficie son escasas y/o tienen baja calidad. Las estaciones existentes pueden no estar situadas correctamente (sin cumplir las normas de la OMM), disponer de un mantenimiento inadecuado y no contar con conexiones adecuadas para un seguimiento en tiempo real. En los países en desarrollo, la falta de recursos para adquirir y desplegar instrumentación y la falta de entrenamiento del personal del servicio meteorológico local para situar, calibrar y mantener los equipos, aumentan los problemas de la baja calidad de las observaciones. Como los instrumentos meteorológicos comerciales son relativamente caros, los instrumentos

que fallan o que son robados, a menudo no se reemplazan y el resultado se traduce en que no hay disponibilidad de observaciones meteorológicas en regiones críticas.

En estas regiones con pocos datos, se ha creado una iniciativa internacional para desarrollar y desplegar instrumentación meteorológica de bajo coste. El objetivo es proporcionar tecnología a los servicios meteorológicos de los países en desarrollo para que puedan construir, instalar y mantener su propia red de estaciones de superficie. La instrumentación ha sido desarrollada utilizando nueva tecnología de bajo coste como las impresoras 3-D, sistemas de cálculo pequeños y baratos (como por ejemplo la Raspberry Pi) y comunicaciones inalámbricas. Si la estación resulta destruida o un sensor falla, puede ser reemplazado con poco costo utilizando elementos producidos por las impresoras 3-D. Gracias a Internet, a las comunicaciones inalámbricas, a la cobertura de los teléfonos móviles y a la disponibilidad de unos ordenadores más rápidos, se cuenta ahora con la tecnología para la transmisión rápida de los datos de superficie.

Existen diferentes métodos de predicción inmediata que van desde la extrapolación sencilla de los ecos de radar de precipitación o los bucles animados de las nubes observadas por satélite, hasta sistemas sofisticados que combinan salidas de detección de características y algoritmos de predicción visualizados en sistemas que se actualizan frecuentemente y que combinan observaciones y salidas de modelos numéricos. La naturaleza efímera y la pequeña escala de algunos tipos de tiempo (como por ejemplo, los tornados y los microrreventones) generalmente condicionan el tipo de técnicas de predicción inmediata que pueden ser utilizadas para emitir avisos de tiempo adverso; en este caso, a menudo se utilizan técnicas de extrapolación sencillas. (Para fenómenos meteorológicos con escalas temporales y espaciales mayores, los sistemas de predicción inmediata usan una combinación de observaciones y salidas de modelos numéricos para extender las predicciones hasta 6 horas).

Un sistema experto para hacer predicción inmediata de tormentas puede usar: a) satélites para monitorizar las líneas de nubes convectivas (líneas de convergencia) y el crecimiento de este tipo de nubes; b) radar para identificar las tormentas, su intensidad y su movimiento así como también la localización y el movimiento de las líneas de convergencia en la capa límite; c) descargas eléctricas y tendencia de las mismas para completar la localización de las tormentas y su evolución para las



La publicación *Guidelines for Nowcasting Techniques* fue editada por la OMM (en inglés) en 2017 y está disponible en: [https://library.wmo.int/doc\\_num.php?explnum\\_id=3795](https://library.wmo.int/doc_num.php?explnum_id=3795).

tormentas no observadas por el radar; d) temperatura, humedad y viento en niveles altos para obtener la cizalladura de viento en la vertical y los perfiles de estabilidad para estimar el tipo de tormenta potencial; y e) estaciones de superficie para vigilar los posibles cambios en la estabilidad atmosférica. En muchos lugares del mundo, las observaciones son limitadas, y por tanto la capacidad para hacer predicción inmediata de fenómenos específicos varía significativamente de unos sitios a otros.

Las predicciones inmediatas cuantitativas de precipitación se basan en la extrapolación temporal del campo de precipitación. La advección utilizada en esta extrapolación se basa en el movimiento aparente que ha sido deducido a partir de las últimas imágenes radar. Por lo general, la advección se estima utilizando correlaciones cruzadas o la técnica de flujo óptico que usa teselas de un tamaño de 20 a 40 km. La técnica usada para extrapolar la imagen en el tiempo suele requerir una estimación de la advección en cada pixel del campo. Además se requiere algún tipo de interpolación para distribuir la estimación de la advección en las teselas a toda la imagen. Los algoritmos de extrapolación primero identifican las tormentas como objetos en un escaneo radar y después siguen el movimiento de la tormenta identificando el mismo objeto en sucesivos escaneos. Esta técnica se conoce como seguimiento de células y es adecuada para identificar y seguir tormentas convectivas severas. Normalmente, estos datos son usados como entrada de sistemas que generan avisos de riesgos asociados con la convección severa: granizo grueso, vientos destructivos, lluvias torrenciales y descargas eléctricas.

Es conveniente utilizar herramientas y sistemas automáticos debido a los cortos períodos de tiempo asociados a la predicción inmediata. En todo el mundo se dispone de sistemas automáticos de predicción para la extrapolación de la precipitación y las tormentas severas. Otras herramientas de predicción se utilizan para detectar rápidamente tendencias en las características de la tormenta, como la intensidad, el tamaño y el movimiento. Se ha puesto de manifiesto que muchas de estas herramientas resultan especialmente adecuadas para producir avisos, como por ejemplo, para microrreventones, mesociclones y lluvias torrenciales. Los usuarios de las predicciones del sistema de predicción inmediata suelen necesitar información en tiempo real para sus aplicaciones posteriores y para poder evaluar rápidamente la situación meteorológica actual. Como consecuencia, el tiempo de cálculo disponible es limitado, en particular para los parámetros meteorológicos que se actualizan frecuentemente como la precipitación.

En contraste con los modelos numéricos de predicción que incluyen un elevado grado de sofisticación y físicas complejas que hace que se requieran tiempos de cálculo elevados, los sistemas de predicción inmediata deben ser relativamente sencillos y a menudo están basados en aproximaciones heurísticas. En este contexto, heurístico significa que se aceptan limitaciones en un método (por ejemplo, incertidumbres, inexactitudes y aplicabilidad limitada) para evitar requerimientos elevados de tiempo de cómputo. Estas herramientas y métodos de predicción incluyen distintas limitaciones dependiendo de las regiones para los que están diseñados o del propósito para el que van a ser usados.

Los avisos más precisos de tiempo convectivo adverso requieren intervención humana. En primer lugar, el predictor debería examinar los patrones sinópticos y las predicciones de los modelos numéricos. Basándose en su conocimiento de la climatología local y los modelos conceptuales de evolución de tormentas severas para el área local, el predictor debería decidir si es probable la ocurrencia de tiempo adverso en el día. En segundo lugar, el predictor debería realizar un análisis del último sondeo local, si este está disponible, para evaluar la cizalladura vertical del viento, la estabilidad y la probabilidad de los cambios que puedan ocurrir durante el día. Basándose en este análisis, debería estimar el tipo de tormentas que podrían ocurrir, como supercélulas, multicélulas, células aisladas y líneas de turbonada. En tercer lugar, si se dispone de datos de satélite y/o radar actualizados con frecuencia, el predictor debería vigilar la aparición de líneas de convergencia en la capa límite donde es probable que las tormentas se originen. Una vez que las tormentas se han originado, si se dispone de datos radar, el predictor debería concentrarse en buscar características o trazas que puedan indicar la inminencia de tiempo adverso. Estas trazas incluyen alta reflectividad, parejas de rotación, parejas de divergencia, eco en arco y ecos en forma de llamarada. Después, el predictor debería utilizar técnicas de extrapolación automática para identificar localizaciones futuras del tiempo adverso.

## Calidad de la información de la predicción inmediata y formación

La metodología y los criterios de verificación de las predicciones inmediatas deberían elegirse cuidadosamente para que la información generada sea comprensible al usuario. Debe establecerse un diálogo bidireccional con los usuarios para asegurarse de que estos reciben la información que necesitan. Las líneas básicas que deberían

seguirse en la verificación son: a) entender las necesidades de los usuarios interesados en la verificación de las predicciones inmediatas; b) identificar los métodos de verificación y las características fundamentales que puedan responder a las cuestiones que interesan; c) seleccionar los criterios y gráficos que mejor representen estas características; d) identificar y recopilar conjuntos de predicciones y sus correspondientes observaciones; e) realizar la verificación utilizando, por ejemplo, herramientas y paquetes de verificación como *Model Evaluation Tools* y *R verification package*; f) representar los resultados de forma que sean comprensibles a los usuarios; y g) realizar rutinariamente evaluaciones de la calidad del sistema de predicción inmediata para proporcionar información continua sobre el rendimiento de este tipo de predicción. (Para obtener más detalles sobre la verificación de las predicciones inmediatas véase (WMO, 2014) y el sitio web del Grupo de trabajo mixto de la OMM sobre investigación en materia de verificación de predicciones en [www.cawcr.gov.au/projects/verification](http://www.cawcr.gov.au/projects/verification)).

La predicción inmediata necesita generar productos que sean científicamente correctos y también explicarle al usuario cómo usarlos. Por tanto, para que sea un éxito, se requiere una formación continua en meteorología y comunicación. Los formadores deben contar con buenos conocimientos científicos y capacidades sociales y pedagógicas (véase WMO (2013) para más detalles). Se requieren buenos predictores y formadores en muchas disciplinas meteorológicas, lo cual es generalmente imposible para un solo instituto de formación. Por tanto, se necesita cooperación internacional para suministrar formación en predicción inmediata que cumpla los requerimientos de la OMM. Varias organizaciones disponen de recursos útiles para quienes realizan formación en este campo. Cuatro ejemplos clave de estos recursos son:

1. La OMM: en [www.caem.wmo.int/moodle](http://www.caem.wmo.int/moodle) hay recursos de formación en meteorología aeronáutica que pueden usarse para el entrenamiento en predicción inmediata. En [etrp.wmo.int/moodle/](http://etrp.wmo.int/moodle/) pueden encontrarse recursos para instructores y gestores de formación. Información adicional en enseñanza y formación, también relacionada con la predicción inmediata, se proporciona en [public.wmo.int/en/resources/training](http://public.wmo.int/en/resources/training).
2. La Organización Europea para la Explotación de Satélites Meteorológicos (EUMETSAT): en [www.eumetsat.int/website/home/Data/Training/](http://www.eumetsat.int/website/home/Data/Training/) pueden encontrarse cursos de formación y una biblioteca de formación.
3. El proyecto de Formación meteorológica europea (EUMETRAIN) ([www.eumetrain.org](http://www.eumetrain.org)): proyecto internacional de formación financiado por EUMETSAT que ofrece material de formación (manuales, módulos interactivos, casos de estudio, formación en línea y cursos) y apoyo a la formación en el campo de la meteorología satelital.
4. El Programa de cooperación para la enseñanza y la formación en meteorología operativa (COMET MetEd) ([www.met.ed.ucar.edu/](http://www.met.ed.ucar.edu/)): dispone de recursos de formación en línea en muchos campos de la meteorología, la hidrología y la climatología dirigidos a distintos grupos de usuarios.

## Aplicaciones de la predicción inmediata

Un importante aspecto de la predicción inmediata es la detección temprana de situaciones que den lugar a avisos y la difusión rápida de la información al público. La aplicación adecuada de los productos de la predicción y la respuesta correcta a los avisos podrían contribuir significativamente a optimizar las medidas de protección y a reducir las pérdidas debido a desastres. El aumento de la población y el crecimiento económico han aumentado el número de vidas que pueden estar en peligro durante episodios de tiempo adverso y el impacto económico asociado a las tormentas severas. Al mismo tiempo, la modernización de las sociedades ha hecho que la información meteorológica sea indispensable en la vida cotidiana de las personas. En comparación con las necesidades específicas de productos de predicción inmediata en áreas especializadas (como la aviación, el transporte, la hidrología y las aplicaciones marinas), los requerimientos de la predicción para el público en general llevan a una mayor variedad de demandas de productos de predicción inmediata. Estos requerimientos son para fenómenos de tiempo adverso y también para otros elementos que son relevantes para la seguridad, la salud, la vida cotidiana, el turismo y el ocio.

Algunos sistemas de predicción inmediata para la aviación, como el *Convective Nowcasting Oceanic*, combinan observaciones de satélites polares y geoestacionarios con predicciones de un modelo global para producir predicciones en el rango 0-2 horas de riesgos asociados a tormentas (turbulencia, hielo y descargas eléctricas) en las rutas sobre los océanos. La acumulación de hielo en las zonas de aparcamiento, pistas y aviones debido a precipitación congelante también afecta en gran medida a la seguridad y a la eficiencia de la aviación. El

Sistema de apoyo meteorológico para la toma de decisiones sobre deshielo, desarrollado en los Estados Unidos de América por el Laboratorio de aplicaciones de la investigación del Centro Nacional de Investigaciones Atmosféricas (NCAR), es un sistema operativo en tiempo real que se integra en los aeropuertos y suministra a los usuarios aeronáuticos el estado actual y las predicciones de corto plazo de las condiciones meteorológicas que incluyen el equivalente en agua en estado líquido de la intensidad de precipitación en forma de nieve durante los temporales invernales. El sistema combina información de reflectividad radar con intensidad de precipitación obtenida de una red de pluviómetros y utiliza un algoritmo de seguimiento basado en correlaciones cruzadas para producir una predicción de la intensidad de la precipitación en el suelo en los próximos 60 minutos. El sistema también proporciona alertas cuando se observan condiciones de engelamiento (llovizna congelante, lluvia congelante, niebla congelante y escarcha). Los sistemas de visualización operativos en los aeropuertos muestran los productos de detección y predicción inmediata, dando la oportunidad a que el personal de operaciones del aeropuerto pueda observar y monitorizar los cambios en las condiciones meteorológicas en tiempo real.

## Recomendaciones

Mientras trabajaban en las Guías generales para la predicción inmediata, el grupo de expertos ha elaborado las siguientes recomendaciones para los SMHN interesados en crear o desarrollar capacidad en materia de predicción inmediata:

- contactar con la división del SPDP de la OMM que les facilitaría la comunicación con expertos que les pueden ayudar;
- involucrar a usuarios finales para identificar y priorizar sus necesidades y requerimientos relacionados con avisos de tiempo de alto impacto;
- para todas las observaciones posibles, evaluar su calidad, rapidez en su disponibilidad en un punto central, visualización y almacenamiento, y tratar de solucionar las deficiencias;
- con la ayuda de expertos, identificar las carencias en las observaciones, infraestructuras y recursos disponibles, y determinar posibles soluciones para la predicción inmediata tratando de atender las necesidades de mayor prioridad de los usuarios finales;
- desarrollar un plan para conseguir un sistema de predicción inmediata eficiente y continuo que integre observaciones, técnicas automáticas de predicción y modelos, visualizando todos ellos en una misma estación de trabajo; este plan debería incluir colaboración con países vecinos para compartir datos y productos de modelos;
- desarrollar un plan que asegure, a la larga, soporte técnico, formación y especialización para mantener los equipos, los sistemas y los programas informáticos actualizados, calibrados y operativos;
- desarrollar un plan que asegure la sostenibilidad de las técnicas de predicción inmediata, la formación continua de los predictores en todos los aspectos de la predicción inmediata y, cuando sea apropiado, recurrir a los talleres de trabajo y material disponible del Proyecto de demostración de la OMM de las predicciones de fenómenos meteorológicos extremos;
- verificar la calidad de los productos de predicción inmediata teniendo en cuenta los fenómenos meteorológicos y los requerimientos de los usuarios;
- asegurarse de que los predictores juegan un papel fundamental en el proceso de la predicción inmediata, a pesar de la disponibilidad de técnicas automáticas para la misma.

La publicación de las Guías generales para la predicción inmediata contiene mucha más información que la que puede recogerse en este breve artículo. Animamos a todos los SMHN a utilizarla para desarrollar su sistema de predicción inmediata.

## Agradecimientos

Al grupo de trabajo internacional de expertos en predicción inmediata:

- Yong Wang (Instituto Central de Meteorología y Geodinámica, Viena)
- Wilfried Jacobs (Servicio Meteorológico de Alemania, Offenbach)
- Larisa Nikitina (Servicio Federal Ruso de Hidrometeorología y Vigilancia Ambiental, Moscú)
- Rita Roberts (NCAR, Boulder, Estados Unidos de América)



- Jianjie Wang (Administración Meteorológica de China, Pekín)
- Jim Wilson (NCAR, Boulder, Estados Unidos de América)

Con contribuciones y coordinación de la Secretaría de la OMM (Abdoulaye Harou, Estelle De Coning y Paul Joe).

## Referencias

- Bailey, M. E., G. A. Isaac, N. Driedger y J. Reid, 2009. Comparison of nowcasting methods in the context of high-impact weather events for the Canadian Airport Nowcasting Project. International Symposium on Nowcasting and Very Short Range Forecasting, Whistler, Columbia Británica, 30 de agosto a 4 de septiembre.
- Bowler, N. E., C. E. Pierce y A. Seed, 2004. Development of a precipitation nowcasting algorithm based upon optical flow techniques. *Journal of Hydrology*, 288(1):74-91.
- , 2006. STEPS: A probabilistic precipitation forecasting scheme which merges an extrapolation nowcast with downscaled NWP. *Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society*, 132:2127-2155.
- Dixon, M. y G. Wiener, 1993. TITAN: Thunderstorm identification, tracking, analysis and nowcasting – a radar-based methodology. *Journal of Atmospheric and Oceanic Technology*, 10:785-797.
- Germann, U. e I. Zawadzki, 2002. Scale-dependence of the predictability of precipitation from continental radar images. Part I: Description of the methodology. *Monthly Weather Review*, 130:2859-2873.
- Hering, A. M., C. Morel, G. Galli, S. Senesi, P. Ambrosetti y M. Boscacci, 2004. Nowcasting thunderstorms in the Alpine region using a radar-based adaptive thresholding scheme. Proceedings of the Third European Conference on Radar Meteorology, Visby, Suecia, 6-10 de septiembre.
- James, P., B. Reichert y D. Heizenreder, 2015. NowCastMIX – optimized automatic warnings from continuously monitored nowcasting systems based on fuzzy-logic evaluations of storm attributes. Presentado en la Eighth European Conference on Severe Storms, Wiener Neustadt, Austria, 14-18 September.
- Johnson, J. T., P. L. MacKeen, A. Witt, E. D. Mitchell, G. J. Stumpf, M. D. Eilts y K. W. Thomas, 1998. The storm cell identification and tracking algorithm: an enhanced WSR-88D algorithm. *Weather and Forecasting*, 13:263-276.
- Jung, S. H. y G. Lee, 2015. Radar-based cell tracking with fuzzy logic approach. *Meteorological Applications*, 22(4):716-730.
- Li, P. W. y E. S. Lai, 2004. Short-range quantitative precipitation forecasting in Hong Kong. *Journal of Hydrology*, 288(1):189-209.
- Li, L., W. Schmid y J. Joss, 1995. Nowcasting of motion and growth of precipitation with radar over a complex orography. *Journal of Applied Meteorology*, 34:1286-1300.
- Mueller, C., T. Saxen, R. Roberts, J. Wilson, T. Betancourt, S. Dettling, N. Oien y J. Yee, 2003. NCAR Auto-Nowcast System. *Weather and Forecasting*, 18:545-561.
- Organización Meteorológica Mundial (OMM) / World Meteorological Organization (WMO), 2013. Directrices para los instructores de los servicios meteorológicos, hidrológicos y climáticos (OMM-Nº 1114). Ginebra.
- , 2014: Forecast Verification for the African Severe Weather Forecasting Demonstration Projects (WMO-No. 1132). Ginebra.
- , 2017: Guidelines for Nowcasting Techniques (WMO-No. 1198). Ginebra.
- Reichert, B. K., 2009. AutoWARN – Automatische Unterstützung der Herausgabe von Unwetterwarnungen (AutoWARN – Automatic support for issuing weather warnings). *Promet*, 35(1/2):98-103.
- Reinhart, R. E. y E. T. Garvey, 1978. Three-dimensional storm motion detection by convective weather radar. *Nature*, 273:287-289.
- Ruzanski, E., V. Chandrasekar y Y. Wang, 2011. The CASA nowcasting system. *Journal of Atmospheric and Oceanic Technology*, 28(5):640-655.